

Steigerung der Energieeffizienz: Problem oder Lösung?

Prof. Dr. Reinhard Madlener

**Lehrstuhl für Wirtschaftswissenschaften insbes. Energieökonomik
Direktor, Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN)**

**SES-Fachtagung „Energiekrise als Chance“
17. September 2010, Zürich**

www.eonerc.rwth-aachen.de/fcn
post_fcn@eonerc.rwth-aachen.de

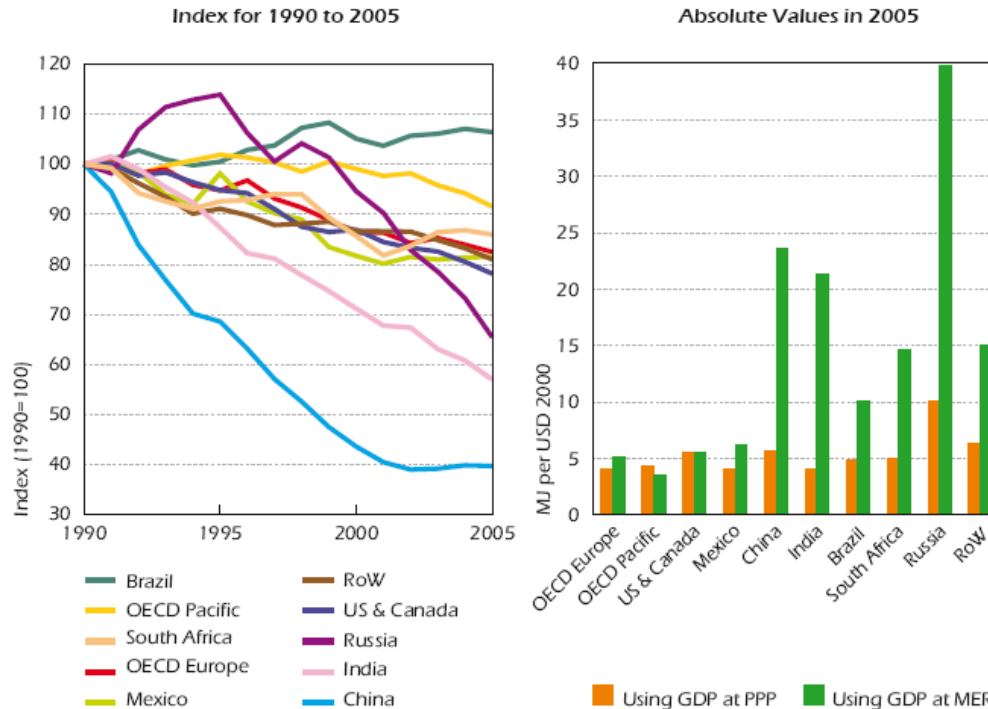


1. Einleitung
2. Die Energieeffizienz-Debatte
3. Rebound: Dimensionen, Definitionen und Taxonomie
4. Modellierung von Reboundeffekten (Methodik)
5. Empirische Rebound-Schätzungen
6. Aktuelle Themen (Smart Lighting, Smart Home etc.)
7. Rebound und ökonomische Wachstumstheorie
8. Fazit

1. Einleitung: Energieeffizienz als Politikziel?



- **Energieeffizienz** wird vielfach **als Allheilmittel** betrachtet, um energie- und umweltpolitische Ziele (Versorgungssicherheit, Klimaschutz etc.) kostengünstig erreichen zu können
- Hoffnung, dass eine **energieeffiziente Wissensgesellschaft** viel weniger Energie verbraucht; beliebter ‚Nachhaltigkeitsindikator‘: Reduktion der Energieintensität



Sources: IEA, 2007c; IEA, 2007d; IEA estimates.

Source: EEA (2008)

- **EU**: +20% bis 2020, **US**: +30% von 2003-2015, etc. ⇒ Energieeffizienz-Ziele stehen auf vielen energiepolitischen Agendas an oberster Stelle
- Zitate aus dem **IEA-Bericht** *“IEA Work for the G8: In Support of the G8 Plan of Action”*:
 - “Energy efficiency improvements are a top priority throughout the economy and they can be applied right now. In industry alone, application of proven technologies and best practice on a global scale could save 18% to 26% of current industrial energy use.”
 - “Any path to sustainability begins with improving energy efficiency throughout the global economy. [...] If energy efficiency had not improved since 1973, energy use in IEA countries would have been 58% higher in 2005 than it actually was. The equivalent of 59 EJ of energy was saved.”

➔ Frage: In welcher Größenordnung werden die **Reboundeffekte** in solchen Überlegungen und Berechnungen eigentlich angenommen?

■ Welches ist die am besten geeignete Strategie zum Umweltschutz?

$$I = f(P, A, T)$$

Quelle: Ehrlich/Holdren (1968)

I = Umweltauswirkungen (Impact):

Ressourcenverbrauch, Umweltverschmutzung, Landverbrauch etc.

Einflussfaktor:

P = Population

A = Affluence

T = Technology

Strategie:

Begrenzung des Bevölkerungswachstums

Energiesparen, Suffizienz

Effizienzsteigerung

■ Politisch machbar

***Ceteris paribus* reduziert eine Verminderung von P , A , oder T die Umweltauswirkungen I**

■ Was ist ein Rebound-Effekt?

- Phänomen, nach dem Energieeffizienz-Steigerungen lediglich unterproportionale Energieeinsparungen bewirken
- Der tatsächlich realisierte Umweltnutzen ist niedriger als der erwartete Nutzen (und damit Politik *ex post* betrachtet nicht mehr so günstig wie *ex ante* erhofft)
- Durch neue Technologien hervorgerufene Verhaltens- und Systemanpassungen wirken den erwarteten Effizienzvorteilen teilweise entgegen (sozio-ökonomische Effekte sind nicht zu vernachlässigen)

■ Was besagt das „Khazzoom-Brookes Postulat“? (Brookes 1978, Khazzoom 1980)

- Bei konstanten realen Preisen erhöhen Energieeffizienzsteigerungen den Energieverbrauch über das Niveau, wo der Verbrauch ohne diese Effizienzsteigerungen liegen würde (vgl. Saunders, 1992)

- Die **Effizienzstrategie** der meisten Regierungen erhofft sich eine **Reduktion des Energieverbrauchs** und der damit verbundenen Emissionen durch effizienteren Energieeinsatz.
- Problem: Verbesserungen der Energieeffizienz könnten auf längere Sicht tatsächlich zu einer **Erhöhung des Energieverbrauches** führen, wie Jevons bereits 1865 in *The Coal Question* argumentiert hat („Jevons‘ Paradox“).
- Bislang zahlreiche argumentative und theoretische wissenschaftliche Arbeiten, noch immer **relativ wenige empirische und belastbare Aussagen**, die das ganze Spektrum möglicher Reboundeffekte abdecken (Technologien, Energiedienstleistungen, Energiekonsumenten, Länder etc.)

⇒ Ein durchaus ernst zu nehmendes Phänomen mit nach wie vor grossem Nachholbedarf in der Forschung, aber auch erheblichen methodischen Herausforderungen und in vielen Bereichen mangelnder Datenverfügbarkeit.

- Effizienzverbesserungen können als Form des technologischen Fortschritts gesehen werden, **welche die effektiven Kosten der Energiedienstleistungen reduziert** und die Wirtschaftsaktivitäten stimuliert (Howarth, 1997).
- Wenn dem so ist, **könnte die Energieeffizienzstrategie** wirtschaftlichen Wachstumszielen und der Wohlstandsmehrung dienlich sein, aber **als umweltpolitische Strategie das Gegenteil bewirken** (d.h. zu mehr anstatt weniger Ressourcenverbrauch führen).
- Umweltpolitisch helfen nur absolute Reduktionen der Verschmutzung; Energieeffizienz also nur **Mittel zum Zweck, nicht Zielgrösse** (Teil des Problems oder Teil der Lösung?; vgl. Herring, 2006; Madlener/Alcott 2007)

- Ebenso wie Jevons, zweifelten **Brookes (1978)**, **Khazzoom (1980)** und **Saunders (1992)** die Steigerung der Energieeffizienz als geeignete umweltpolitische Strategie an – Potentialberechnungen der Ingenieure vernachlässigen / übersimplifizieren die ökonomischen Zusammenhänge.
- Khazzoom (1980):
*“Unfortunately, these estimates of energy savings predicted to result from [...] mandated standards are derived mechanically [...] These calculations overlook the fact that changes in appliance efficiency have a **price content**.”*

Howarth (1997):

- Eine Steigerung der Energieeffizienz kann (in seinem Modell) keinen erhöhten Energieverbrauch hervorrufen, es sei denn:
 - Energiekosten dominieren die Gesamtkosten der betreffenden Energiedienstleistungen
 - Ausgaben für Energiedienstleistungen stellen einen großen Anteil der wirtschaftlichen Aktivität dar
- Hält diese Annahmen für empirisch unplausibel und schliesst, dass EE-Verbesserungen auf lange Sicht Energieverbrauchs-Reduktionen bewirken

Grubb (1992):

- Man muss unterscheiden zwischen den wirtschaftlichen Aktivitäten und den technologischen Determinanten des Energieverbrauches
- Ansicht, dass Business-as-Usual Effizienzsteigerungen grossteils durch effizienzinduzierten Mehrkonsum kompensiert werden können
- Aber überall wo Marktversagen auftritt, d.h. Effizienzsteigerungen nicht zu Energiepreisreduktionen führen, verursachen Effizienzpolitiken nur geringe Reboundeffekte

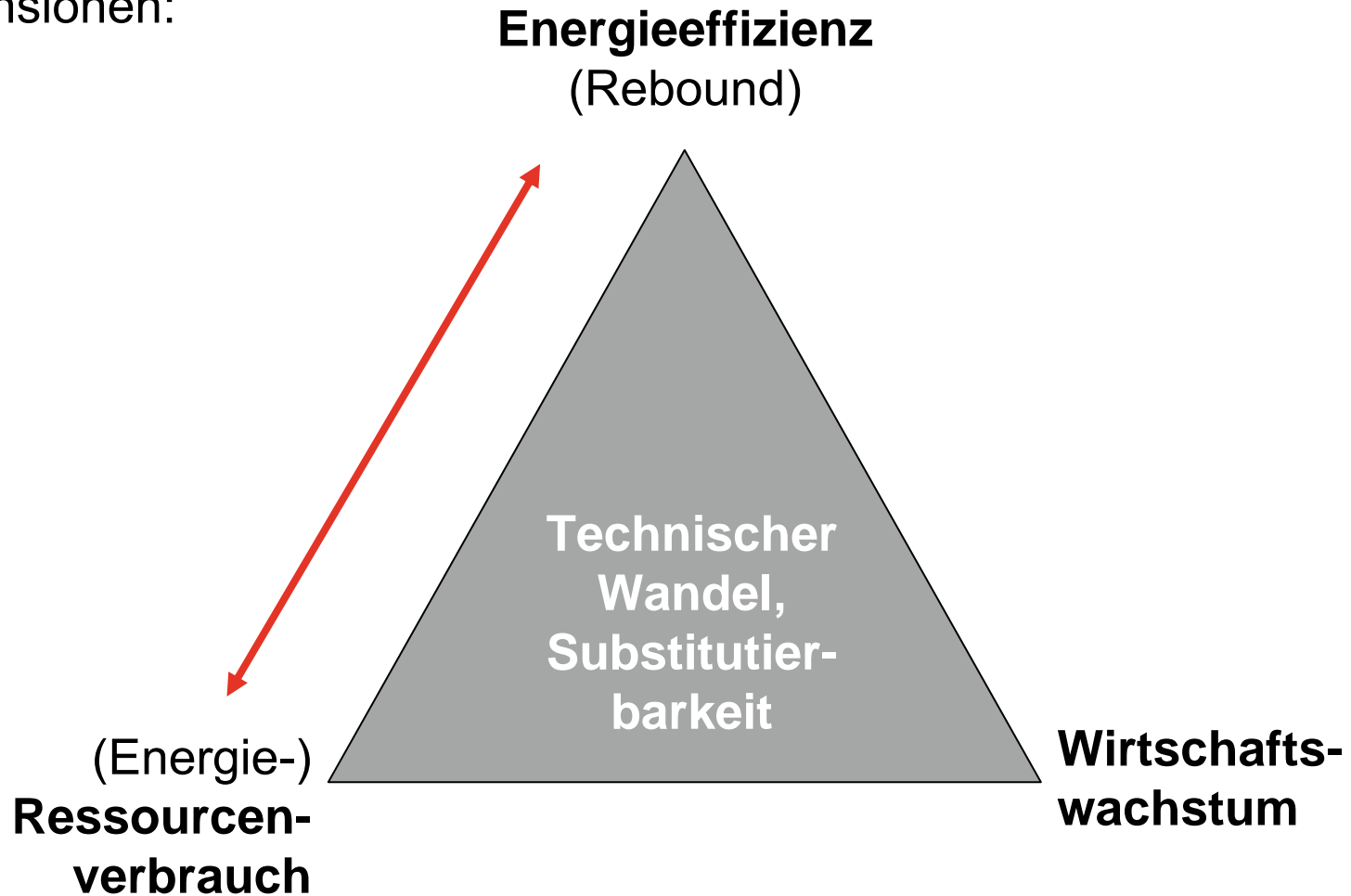
Saunders (1992):

- Analyse basierend auf der neoklassischen Wachstumstheorie, bestätigt **theoretisch** die Möglichkeit von “backfire” (das Brookes-Khazzoom Postulat)
- Energieeffizienz-Gewinne können den Energieverbrauch steigern, nicht nur durch Reduktion der effektiven Energiekosten, sondern sogar direkter durch Steigerung des ökonomischen Wachstums

Binswanger (2001):

- Parallel ablaufender „**Zeit-Rebound**“ (Opportunitätskosten der Zeit)
- Ausgangspunkt: Haushaltsproduktionstheorie (Becker, 1965)
- Zeitkosten (pro h) und Zeiteffizienz haben wichtige Auswirkungen auf den Energieverbrauch und auch den Reboundeffekt
- Die gesamten Zeitkosten für eine Energiedienstleistung hängen von den Opportunitätskosten der Zeit und dem Zeitaufwand pro Einheit Nutzarbeit ab
- Arbeitskosten sind schneller gestiegen als Energiekosten: Substitution v. Zeit

Dimensionen:



Quelle: nach Madlener/Alcott (2009)

Definitionen:

- **Ingenieurwissenschaftliche Einsparungen** sind die theoretischen Energie-Einsparungen infolge technologischen Fortschritts, wenn der **Konsum konstant** gehalten wird.
- **Rebound** tritt auf, weil der Konsum wegen Einkommens- und Preiseffekten nicht konstant bleibt. Er wird **typischerweise in %** der ingenieurwissenschaftlich erwarteten Einsparungen ausgedrückt.
- Wenn der **Rebound-Effekt > 100 %** beträgt, so spricht man von “**backfire**”.

Taxonomie I:

- **Einkommenseffekt:** Für die gleiche Anzahl gefahrener Kilometer reduzieren sich *ceteris paribus* die monatlichen Benzinkosten
- **Substitutionseffekt** (wo möglich): Der Produktionsfaktor Energie wird produktiver gegenüber anderen Produktionsfaktoren (Faktorzuwachs)
- **Preiseffekt** (dynamischer Ausgleich Angebot + Nachfrage): geringerer Energiebedarf verursacht niedrigere Nachfrage, was preissenkend wirkt und dadurch wiederum die Nachfrage erhöht

Taxonomie II:

- **Direkte Effekte** – erhöhte Nachfrage nach Energiedienstleistungen aufgrund von Kosteneinsparungen als Folge höherer Effizienz
- **Indirekte Effekte** – höheres Budget zum Konsum verschiedenster (energieverbrauchender) Güter und Dienstleistungen aufgrund von niedrigeren Kosten von Energiedienstleistungen
- **Gesamtwirtschaftliche Effekte** – betreffen sowohl Unternehmen als auch Konsumenten, betreffen Angebots-Nachfrage-Anpassungen in allen Wirtschaftssektoren

- Betrachtungsweise 1: **Reboundeffekt als Effizienzlastizität**
 - Energieeffizienz (ε) eines Energiesystems definiert als $\varepsilon = S/E$
 - E ... Energieinput pro Einheit Output an Nutzenergie
 - Energiekosten der Nutzenergie $P_S = P_E / \varepsilon$
 - P_E ... Energiepreis (eine Komponente der Gesamtkosten)

- Beispiel: Effizienzverbesserung ($\Delta\varepsilon > 0$), aber Kosten der Nicht-Energie-Inputs und der Konsum anderer Attribute der Energiedienstleistung bleiben gleich
 - Nachfrage nach Nutzenergie bleibt gleich ($\Delta S = 0$)
 - Energieverbrauch würde proportional zur Effizienzsteigerung zurück gehen ($\Delta E/E < -\Delta\varepsilon/\varepsilon$)
 - Effizienzverbesserung reduziert die Energiekosten pro Einheit an Nutzenergie ($\Delta P_S < 0$) und damit auch die Gesamtkosten
 - Bei normaler Preiselastizität der Energiedienstleistung würden Konsumenten mehr Nutzenergie nachfragen ($\Delta S > 0$)
 - Proportionale Änderung des Energieverbrauches ist geringer als die proportionale Änderung der Energieeffizienz ($\Delta E/E < -\Delta\varepsilon/\varepsilon$)

Quelle: in Anlehnung an Sorrell/Dimitropoulos (2008)

- Die Änderung der Nachfrage nach Nutzenergie als Folge einer geringen Änderung der Energieeffizienz kann durch die **Effizienzelastizität der Nachfrage nach Nutzenergie** ($\eta_\varepsilon(S)$) gemessen werden

$$\eta_\varepsilon(S) = \frac{\partial S_\varepsilon}{\partial \varepsilon S}$$

- Analog dazu kann die Änderung der Nachfrage nach Energie als Folge einer geringen Änderung der Energieeffizienz durch die **Effizienzelastizität der Nachfrage nach Energie** ($\eta_\varepsilon(E)$) gemessen werden

$$\eta_\varepsilon(E) = \frac{\partial E_\varepsilon}{\partial \varepsilon E}$$

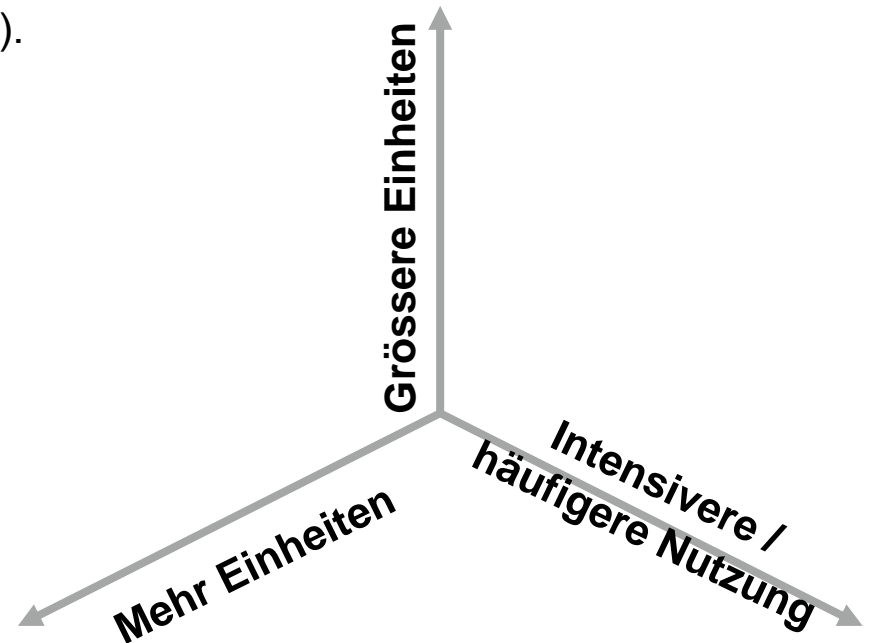
- Substitution von $E = S/\varepsilon$ und partielle Ableitung ergibt

$$\eta_\varepsilon(E) = \eta_\varepsilon(S) - 1$$

- Die Effizienzelastizität der Nachfrage nach Nutzenergie ist ein häufig verwendetes Modell zur Messung des direkten Reboundeffektes
- Verschiedene **Zerlegungen** sind möglich bzw. denkbar, je nach Datenverfügbarkeit und verwendetem Nutzenergie-Mass (S)
- Beispiel: Wenn Nutzenergie als Produkt der Anzahl, Kapazität und Nutzung von energiewandelnden Geräten aufgefasst wird, so wird aus dem Modell

$$\eta_{\varepsilon}(E) = \left[\eta_{\varepsilon}(NO) + \eta_{\varepsilon}(CAP) + \eta_{\varepsilon}(UTIL) \right] - 1$$

- **Technologische Verbesserungen** in der Energieeffizienz können zu einem Anstieg führen in:
 - der Anzahl der energieverbrauchenden Geräte (*NO*),
 - deren durchschnittlicher Grösse (*CAP*),
 - deren durchschnittlicher Gebrauchsrate (*UTIL*), und / oder
 - deren durchschnittlicher Auslastung (*LF*).
- Beispiel: Automobil



■ Betrachtungsweise 2: Reboundeffekt als Preiselastizität

- Da $P_S = P_E/\varepsilon$ sollte eine **Erhöhung (Verminderung) der Energieeffizienz** bei konstanten Energiepreisen denselben Effekt auf die Energiekosten der Nutzenergie (P_S) haben wie **fallende (steigende) Preise** wenn die Energieeffizienz konstant bleibt.
- Der **Effekt auf die Gesamtkosten** und daher die Nachfrage (S) nach Nutzenergie sollte **symmetrisch** sein
- Wenn die übrigen Inputs konstant gehalten werden, kann die **Nachfrage nach Nutzenergie** einzig als Funktion der Energiepreise und der Energieeffizienz angegeben werden: $S = s(P_E/\varepsilon)$
- Die **Energienachfrage** ist dann gegeben als: $E = s(P_E/\varepsilon)/\varepsilon$
- Unter der Annahme, dass die **Energiepreise exogen** sind (d.h. nicht von ε abhängig), können wir diese Funktion nach ε differenzieren und erhalten eine alternative Definition bzw. Modellspezifikation für den Reboundeffekt:

$$\eta_\varepsilon(E) = -\eta_{P_S}(S) - 1$$

- D.h. die Effizienzelastizität der Energienachfrage $\eta_\varepsilon(E)$ ist gleich der Energiekostenelastizität der Nachfrage nach Nutzenergie $\eta_{P_S}(S)$ minus eins.

- Diese Definition des Reboundeffektes wird für empirische Schätzungen meist bevorzugt, da die unabhängige Variable in Modell 1 (ε) meist eine zu geringe Variation aufweist
- Der Vorteil hier (Betrachtungsweise 2) ist, dass die unabhängige Variable (P_S) eine viel grössere Variation aufweist, da sie sowohl Änderungen in der Energieeffizienz als auch im Energiepreis beinhaltet

- Man beachte, dass:
 - die Schätzung nach Modell 2 genaue Messwerte der Nachfrage nach Nutzenergie (S) für die betreffende Energiedienstleistung und der Energiekosten pro Einheit Nutzenergie (P_S) benötigt.
 - P_S von den Energie-Rohstoffpreisen und der Energieeffizienz des betrachteten Energiesystems abhängt.
 - die exakte Messung der Nutzenergie für viele Arten von Energiedienstleistungen schwierig sein kann (z.B. Nutzenergie einer Heizungsanlage kann definiert sein als durchschnittliche Innentemperatur des Hauses und direkt mittels Thermometern gemessen oder indirekt über Thermostateinstellungen. Letztere können sehr ungenau sein und ein schlechter Indikator für den thermischen Komfort der BewohnerInnen).

- Meist nur direkter Rebound, beschränkte Zahl von Energiedienstleistungen, Fokus auf Industrieländer (insb. USA)
- Die geschätzten direkten Rebound-Effekte liegen meist im Bereich von 0–50 %

Direkte Rebound-Schätzungen

■ Private Haushalte:	Raumwärme	10–30 %
■ “	Raumkühlung	0–50 %
■ “	Warmwasser	<10–40 %
■ “	Beleuchtung	5–12 %
■ “	Geräte	0 %
■ Automobil		10–30 %
■ Beleuchtung in Unternehmen		0–2 %
■ Div. Prozesse in Unternehmen		0–20 %



Quelle: Greening et al. (2000)

Problem: Bisher sehr wenige empirische Forschung zum indirekten und gesamtwirtschaftlichen Reboundeffekt, „backfire“ ($R > 100\%$) theoretisch möglich!

- Aktualisierte Zusammenschau (UK ERC-Studie): Die geschätzten direkten Rebound-Effekte liegen im Bereich von 0–30 %, aber Verzerrungen sind möglich

Direkte Rebound-Schätzungen	Endverbrauch	Spannweite	Beste Schätzung	Anz. Studien	Grad des Vertrauens
	Individueller Autoverkehr	3–87 %	10–30	17	High
	Raumwärme	0.6–60 %	10–30	9	Medium
	Raumkühlung	1–26 %	1–26	2	Low
	Andere Energiedienstleistungen im Konsumbereich	0–41 %	< 20	3	Low

Quelle: Sorrell et al. (2009)

- Es ist zu erwarten, dass die **Rebound-Effekte höher** ausfallen
 - In Entwicklungsländern
 - Bei ärmeren Bevölkerungsschichten im Inland
 - Bei „General Purpose Technologien“ (GPT) im Frühstadium der Marktdiffusion
- } Ungesättigte Bedürfnisse
-
- Politik-Implikationen:
 - Energieeffizienzpolitiken sinnvoller bei Energieeffizienz-Massnahmen im engeren Sinne (z.B. Gebäudeisolierung) als bei generischen Technologien (z.B. Effizienzsteigerung von Elektromotoren)

Beispiel: Smart Lighting

- Beleuchtung: 5 % der Endenergie (19 % des Primärenergiebedarfs für Elektr.)
- Verbot der Glühbirne (z.B. in AUS, NZ, Germany) – 15 lumens/W
- Energiesparlampe (65 Lumen/W) / Halogenlampe
- LEDs (132 Lumen/W)
- OLEDs (dzt. ca. 60 Lumen/W, aber revolutionäre Entwicklung im Gange)
- \$100 Mrd. globales Marktvolumen
- **Enormes Energieeffizienz-Potential**
 - Völlig neuartige architektonische Designs (OLEDs)
 - Automatische Dimmung je nach Tageslichteinfall
 - Bewegungssensoren ('person tracking')
- **Risiko substantieller Reboundeffekte** (Nachfrage nach ‚mood lighting‘ und gestyltem Interieur vs. Energiesparen & Umweltschutz),
- **Beispiel: Energieaufwand für Beleuchtung in britischen Haushalten steigt trotz rascher Verbreitung der Energiesparlampen und grosser politischer Anstrengungen** (Crosbie et al., 2008)



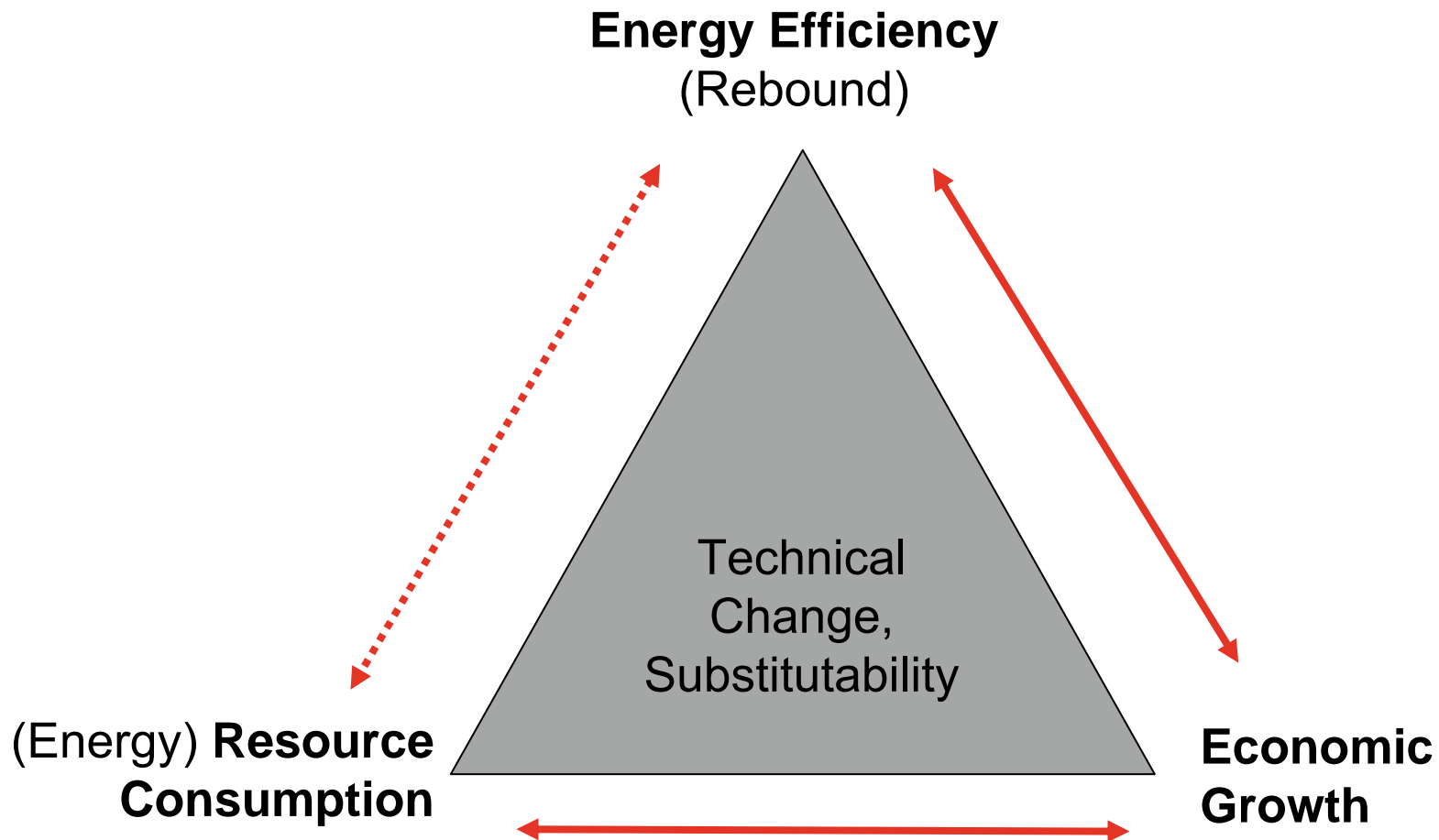
Beispiel: Smart Home



Beispiel: Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)

- 2 % des Elektrizitätsverbrauches für IKT
- Energieverbrauch von IKT selbst hilft Energie in anderen Geräten zu sparen (e.g. Auto, Kühlschrank)
- Marktversagen: z.B. ineffiziente Set-top Boxen (Kabel TV)
- Trend: Virtualisierung / “Cloud computing” (bessere Nutzung freier Kapazitäten in hocheffizienten Data Centers)
- IKT und Energieeffizienz
 - Integration von zentralisierter / dezentralisierter Strom- u. Wärmeproduktion, Smart Metering und Netz-Automation (‘Smart Grid’) mit Marktteilnehmern
 - *Einkommenseffekt* (ökonomischer Schub durch verstärkte IKT-Nutzung, steigert den Energieverbrauch) und *Substitutionseffekt* (Veränderung der Wirtschaftsstruktur und des Kapitalstocks in Richtung höherer Produktivität, vermindert Energieverbrauch)
 - Empirische Evidence: diverse Fallstudien (z.B. über Data Centers); aggregierte ökonometrische Studien: unterschiedliche Ergebnisse, je nach Sektor bzw. IKT-Anwendung (z.B. Bernstein/Madlener, 2009)





Quelle: nach Madlener/Alcott (2009)

7. Rebound und ökonomische Wachstumstheorie: Neoklassische Wachstumstheorie



E.ON Energy Research Center

- **Exogene Wachstumsmodelle** (Solow, 1956) – Versuch, die Rolle des technischen Fortschritts für nachhaltiges Wachstum durch “Manna vom Himmel” zu erklären
- **Energieeffizienz** – als Teil des technischen Fortschritts in der neoklassischen Wachstumstheorie – ist daher üblicherweise **als wachstumstreibende Kraft** gesehen.

7. Rebound und ökonomische Wachstumstheorie: Endogene Wachstumstheorie



- Ermöglicht **neue Einsichten** bzgl. Beziehung zwischen Ressourcenknappheit, technischem Wandel und Wirtschaftswachstum (grosse Fortschritte gegenüber der neoklassischen Wachstumstheorie)
- Technischer Wandel kann **sinkende Skalenerträge kompensieren** – durch Verlagerung auf produktivere oder weniger ressourcenabhängige Technologien, oder Technologien mit weniger Einsatz zusätzlicher oder knapper (natürlicher) Ressourcen
- Technischer Wandel kann **Knappheitsbegrenzungen vermindern** helfen, aber durch Ressourcenknappheit auch verdrängt werden
- **Statussymbole**: Relativer Konsum zählt, viele Statussymbole sind Ressourcenintensiv

7. Grenzen des Wachstums infolge Ressourcenknappheit/-erschöpfung (modifizierte Wachstumsmodelle)



- Mikroökonomische Analyse **ignoriert makroökonomische und globale Effekte der Substitution**, unterschätzt thermodynamische Grenzen, Komplementarität, Irreversibilität, Verschwendung, und Skale (Einfluss des Handels)
- Ressourcenknappheit/-erschöpfung erhöht oft den Einsatz von menschengemachtem Kapital um eine Einheit Naturkapital – zusätzliche Kosten müssen eingerechnet werden
- **Abnehmende Skalenerträge** der Fähigkeit von Technologien zur Reduktion der erforderlichen Menge an menschengemachten und natürlichen Kapital zur Extraktion von Ressourcen

1. Rebound-Effekte haben einen wichtigen Einfluss auf die Effektivität und die effektiven Kosten von Energie- und Umweltpolitiken (sind sie hoch ist die Effektivität von Effizienzpolitiken gering).
2. Rebound-Effekte sind in vielen Kreisen noch weitgehend unbekannt oder unbeachtet (Bevölkerung, Politik, teilweise in der Forschung) u.a. auch im Stern-Report ignoriert.
3. Rebound ws. höher in Entwicklungsländern, in der ärmeren Bevölkerung und bei sog. Allzweck-Technologien im Frühstadium der Marktdiffusion, geringer bei dezidierten Effizienztechnologien (z.B. Gebäudedämmung).
4. Empirische Abschätzungen des Rebound sind methodisch schwierig bzw. anspruchsvoll (Datenmangel für viele Anwendungen, Gefahr von verzerrten Schätzwerten); insbes. die Höhe der indirekten und gesamtwirtschaftlichen Effekte ist noch weitgehend ungeklärt bzw. unbekannt.
5. Die Bedeutung von Energieeffizienz und Rebound hängen stark von der Art des technischen Wandels und vorhandenen Substitutionsmöglichkeiten ab.

6. Bei Verbesserungen der Energieeffizienz würde „Backfire“ den Ressourcenverbrauch erhöhen, was wiederum wachstumshemmend wirken kann.
7. Herkömmliche ökonomische Wachstumsmodelle bilden die Zusammenhänge zw. vom Menschen geschaffenen Kapital und Naturkapital unzureichend ab.
8. Eine Effizienzstrategie kann Suffizienzstrategie nicht bzw. nur bedingt ersetzen.
9. Die Kenntnis des Gesamt-Reboundeffektes ist wichtig für die Formulierung effektiver Energieeffizienz- und nachhaltiger Wachstumspolitiken.
10. Über 30 (bzw. 140) Jahre alte wissenschaftliche Diskussion über die Bedeutung des Reboundeffektes; z.B. dennoch „Entdeckung“ in der internationalen Umwelt- und Ressourcenökonomik erst 2010? (van den Bergh, 2010)

- Alcott B. (2005). Jevons' paradox, *Ecological Economics*, 54: 9-21.
- Binswanger M. (2001). Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect? *Ecological Economics*, 36: 119-132.
- Brookes L. (1990). The greenhouse effect: the fallacies in the energy efficiency solution, *Energy Policy*, 18: 199-201.
- Frondel M., Peeters J., Vance C. (2008). Identifying the rebound: evidence from a German household panel, *Energy Journal*, 29: 145-163.
- Herring H., Sorrell S. (Eds.)(2009). *Energy Efficiency and Sustainable Consumption: The Rebound Effect*, Palgrave MacMillan, New York.
- Howarth R.B. (1997). Energy efficiency and economic growth, *Contemporary Economic Policy*, XV: 1-9.
- Khazzoom J.D. (1980). Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances, *Energy Journal*, 1: 21-40.
- Madlener R., Alcott B. (2007). Steigerung der Energieeffizienz: Problem oder Lösung? *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 57. Jg., Heft 10, S.70-71.
- Madlener R., Alcott B. (2009). Energy rebound and economic growth: a review of the main issues and research needs, *Energy*, 34: 370-376.
- Polimeni M., Mayumi K., Giampietro M., Alcott B. (2008). *The Jevons Paradox and the Myth of Resource Efficiency Improvements*, Earthscan, London.
- Saunders H.D. (2000). A view from the macro side: rebound, backfire and Khazzoom-Brookes, *Energy Policy*, 28: 439-449.
- Sorrell S., Dimitropoulos J. (2007). The rebound effect: microeconomic definitions, limitations and extensions, *Ecological Economics*, 65: 636-649.
- Sorrell S., Dimitropoulos J., Sommerville M. (2009). Empirical estimates of the direct rebound effect: A review, *Energy Policy* 37: 1356-1371.
- Van den Bergh (2010). Energy conservation more effective with rebound policy, *Environmental and Resource Economics* (in press)

- Becker G. S. (1965). A theory of the allocation of time. *The Economic Journal* 75, 493-517.
- EC (2005). Doing More with Less. Green Paper on Energy Efficiency.
- EEA (2008). *Energy and environment report 2008*, European Environment Agency, Copenhagen.
- IEA (2008). *Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency. Key Insights from IEA Indicator Analysis*, IEA/OECD, Paris.
- Leaping the Efficiency Gap, *Science*, Vol.325 (14 Aug 2009): 804-811 (www.sciencemag.org)
- SeBW (2008). The Implications of ICT for Energy Consumption, study by FCN, RWTH Aachen University, on behalf of EC's DG Industry and Enterprise (Sectoral e-Business Watch), September.

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Prof. Dr. Reinhard Madlener

Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN)

**E.ON Energy Research Center
RWTH Aachen University**

**www.eonerc.rwth-aachen.de/fcn
post_fcn@eonerc.rwth-aachen.de**

Kontakt:

Univ.-Prof. Dr. Reinhard Madlener

Tel. +49-241-80 97 162

Fax. +49-241-80 92 206

Email: rmadlener@eonerc.rwth-aachen.de

Web: www.eonerc.rwth-aachen.de/fcn